

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Sifat Dasar Fluida

Pada dasarnya aliran fluida dapat dibedakan atas dua jenis yaitu aliran dalam saluran adalah aliran yang dibatasi oleh permukaan–permukaan keras, dan aliran sekitar benda yang dikelilingi oleh fluida yang selanjutnya tidak terbatas. Perbedaan demikian hanyalah untuk memudahkan peninjauan saja, karena gejala dasar dan kelakuan fluida berlaku pada kedua keadaan tersebut. Aliran melalui pipa dipilih untuk mewakili bentuk penampang lain karena dilapangan secara garis besar dapat dijumpai dalam aplikasi lapangan (*Ridwan, 1999*).

Aliran fluida terbagi berdasarkan beberapa kategori diantaranya berdasarkan sifat pergerakannya adalah sebagai berikut:

1. *Uniform Flow*

Merupakan aliran fluida yang terjadi dimana besar dan arah dari vektor kecepatan konstan dari suatu titik ke titik selanjutnya.

2. *Non Uniform Flow*

Aliran yang terjadi dimana besar dan arah vektor kecepatan fluida selalu berubah terhadap lintasan aliran fluida tersebut, hal ini terjadi karena luas penampang medium fluida juga berubah.

3. *Steady Flow*

Merupakan aliran yang terjadi apabila kecepatannya tidak dipengaruhi oleh waktu, sehingga kecepatannya konstan pada setiap titik pada aliran tersebut.

4. *Non Steady Flow*

Merupakan aliran yang terjadi apabila ada suatu perubahan kecepatan aliran tersebut terhadap perubahan waktu. Berdasarkan pengaruh tekanan terhadap volume, fluida dapat digolongkan menjadi 2 (dua) yaitu:

- a. Fluida tak termampatkan (*incompressible*).

Pada kondisi ini fluida tidak mengalami perubahan dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida tak termampatkan.

b. Fluida termampatkan (*compressible*).

Pada keadaan ini, fluida mengalami perubahan volume dengan adanya perubahan tekanan, sehingga fluida ini secara umum disebut fluida termampatkan.

Fluida dapat juga dibedakan berdasarkan kekentalannya, yaitu fluida nyata *viscous fluid* dan fluida ideal *non viscous fluid*. Fluida nyata adalah fluida yang memiliki kekentalan, fluida ini dapat kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari contohnya air dan udara. Sedangkan fluida ideal, tidak ada dalam kehidupan sehari-hari dan hanya dipakai dalam teori dan kondisi-kondisi khusus saja.

2.1.1 Berat Jenis

Berat jenis fluida merupakan perbandingan relatif antara massa jenis sebuah zat dengan massa jenis air murni. Air murni bermassa jenis 1 g/cm^3 atau 1000 kg/m^3 . Besarnya berat jenis tidak tetap tergantung percepatan gravitasi, juga bergantung pada lokasi benda tersebut berada terhadap permukaan bumi. Faktor yang cukup signifikan yang mempengaruhi berat jenis adalah suhu/temperatur benda itu sendiri. Tekanan bisa saja berpengaruh, bergantung besarnya tekanan itu sendiri. Akan tetapi pada umumnya tekanan yang cukup kecil tidak mempengaruhi nilai berat jenis selain faktor lain. Adapun rumus berat jenis adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{W}{V} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

S = berat jenis (N/m^3)

w = berat benda (kg)

V = volume (m^3)

2.1.2 Kerapatan Massa

Kerapatan massa adalah besaran turunan dalam fisika yang secara umum lebih dikenal massa jenis. Semakin tinggi rapat massa suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Rapat massa rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Adapun rumus dasar kerapatan massa adalah sebagai berikut:

$$\rho \frac{m}{v} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan:

ρ = rapat massa (kg/m^3)

m = massa benda (kg)

V = volume (m^3).

2.1.3 Kerapatan Relatif

Kerapatan relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara rapat massa suatu zat dan rapat massa air, karena $\gamma = \rho \cdot g$ maka rapat relatif juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat jenis suatu zat dan berat jenis air pada 4°C terhadap tekanan atmosfer. Perubahan rapat massa dan berat jenis zat cair terhadap temperatur serta tekanan adalah sangat kecil sehingga dalam praktek perubahan tersebut dapat diabaikan. Bilangan ini tak berdimensi dan diberi notasi S. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut:

$$S = \frac{\rho}{\rho_{\text{air}}} = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{air}}} = \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan:

S = kerapatan relatif.

γ = berat jenis (N/m^3).

ρ = massa jenis (kg/m^3).

2.1.4 Tekanan

Tekanan dapat dihubungkan dengan satuan volume dan suhu. Semakin tinggi tekanan di dalam suatu tempat dengan volume yang sama, maka suhu akan semakin tinggi. Hal ini dapat digunakan untuk menjelaskan mengapa suhu di pegunungan lebih rendah daripada di dataran rendah, karena di dataran rendah tekanan lebih tinggi. Tekanan fluida dipancarkan dengan kekuatan yang sama ke semua arah dan bekerja tegak lurus pada suatu bidang. Tekanan pada suatu titik dalam sebuah massa fluida dapat diartikan sebagai tekanan mutlak atau dapat juga diartikan sebagai tekanan pengukuran. Tekanan mutlak diukur relatif terhadap suatu keadaan hampa sempurna, sedangkan tekanan pengukuran diukur relatif terhadap tekanan atmosfer setempat. Adapun rumus tekanan adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

P = Tekanan (Pa).

F = Gaya (N).

A = Luas Penampang (m²).

2.1.5 Temperatur

Temperatur adalah ukuran panas atau dinginya suatu benda. Panas dan dinginya suatu benda berkaitan dengan energi termis yang terkandung didalam benda tersebut. Semakin besar energi termis, maka semakin besar temperaturnya. Temperatur atau suhu juga dapat menunjukkan energi yang terkandung dalam suatu benda. Setiap atom didalam suatu benda masing-masing bergerak, baik itu dalam bentuk perpindahan maupun gerakan di tempat yang berupa getaran. Semakin tinggi energi maka atom-atom penyusunnya juga akan semakin tinggi temperaturnya.

2.1.6 Viskositas

Viskositas merupakan suatu ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Makin besar viskositas suatu fluida, maka semakin sulit untuk suatu fluida mengalir dan semakin sulit untuk suatu benda bergerak didalam fluida tersebut. Di dalam zat cair, viskositas dihasilkan oleh gaya kohesi diantara molekul zat cair. Sedangkan dalam gas, viskositas timbul sebagai akibat tumbukan yang terjadi antara molekul gas.

Apabila suatu benda bergerak dengan kelajuan v dalam suatu fluida kental yang koefisien viskositasnya η , maka benda tersebut akan mengalami gaya gesekan fluida sebesar $F_s = k \eta v$, dengan k adalah konstanta yang bergantung pada bentuk geometris benda. Berdasarkan perhitungan laboratorium, pada tahun 1845, Sir George Stokes menunjukkan bahwa untuk benda yang bentuk geometrisnya berupa bola nilai $k = 6 \pi r$. Bila nilai k dimasukkan ke dalam persamaan, maka diperoleh persamaan seperti berikut:

$$F_s = 6 \pi r \eta v \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

F_s = gaya gesekan stokes (N)

R = jari – jari (m)

η = koefisien viskositas (Pa.s)

V = kecepatan fluida (m/s)

2.2 Pressure Drop

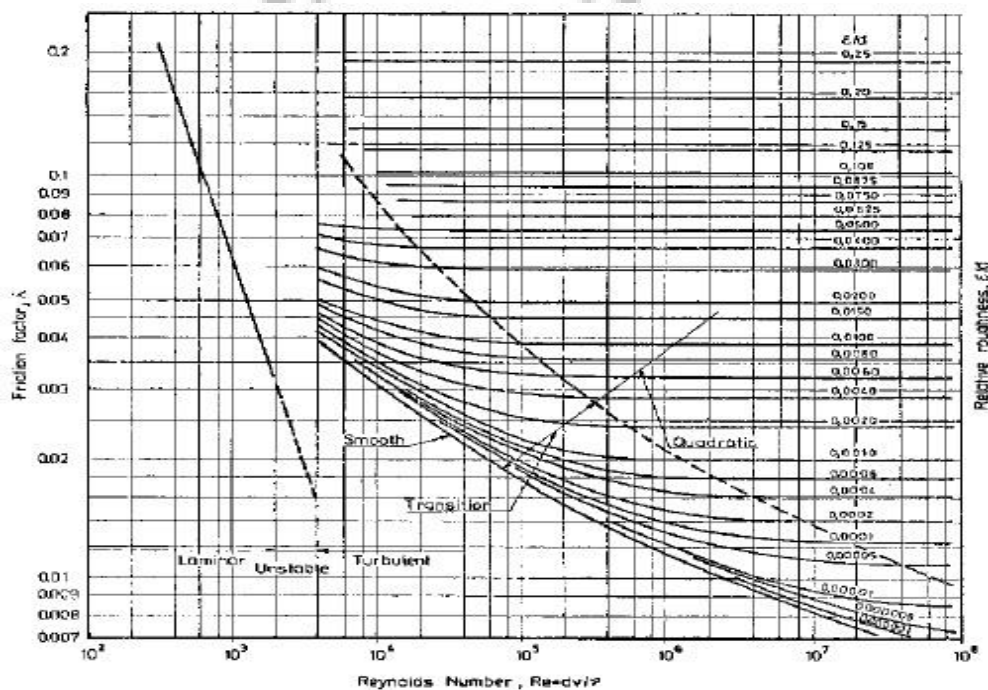
Penurunan tekanan *pressure drop* adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik dalam pipa atau tabung ke hilir titik. "Penurunan tekanan" merupakan hasil dari gaya gesek pada fluida ketika mengalir melalui tabung yang disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Penentu utama resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui sistem perpipaan dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas akan selalu mengalir dalam arah perlawanan paling sedikit tekanan berkurang.

Penurunan tekanan meningkat sebanding dengan gaya gesek yang terjadi dalam jaringan pipa. Penurunan tekanan dipengaruhi oleh sebuah jaringan pipa yang berisi rating kekasaran relatif tinggi serta terdapat banyak pipa fitting dan sendi, konvergensi tabung, divergensi, kekasaran permukaan dan sifat fisik lainnya. Selain itu perubahan energi kinetik dan perhitungan penurunan tekanan yang disebabkan oleh gesekan dalam pipa melingkar juga berpengaruh terhadap *pressure drop*. Kecepatan aliran tinggi dan viskositas tinggi dalam hasil penurunan tekanan yang lebih besar dibagian pipa atau katup dan siku. Kecepatan rendah akan mengakibatkan penurunan tekanan yang lebih rendah atau tidak ada.

Penurunan tekanan dapat dihitung dengan 2 nilai: Reynolds Nomor NRE (menentukan laminar atau aliran turbulen), dan kekasaran relatif pipa, ϵ / D . $NRE = Dv\rho / \mu$ Dimana D adalah diameter pipa dalam meter, v adalah kecepatan aliran dalam meter perdetik, ρ adalah densitas dalam kilogram per meter kubik, dan μ adalah dalam kilogram per meter-detik. *Pressure* menunjukkan penurunan tekanan dari titik 1 ke titik 2 dalam suatu sistem aliran fluida. Penurunan tekanan, biasa dinyatakan juga dengan ΔP saja. Jika manometer yang digunakan adalah manometer air raksa, dan beda tinggi air raksa dalam manometer H ft, maka :

$$\Delta p = H (\rho_{Hg}) g/g \dots \dots \dots (2.6)$$

Pressure drop adalah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekanan dari satu titik didalam pipa atau aliran air. "Penurunan Tekanan" adalah hasil dari gaya gesek pada fluida seperti yang mengalir melalui tabung. Gaya gesek disebabkan oleh resistensi terhadap aliran. Faktor utama yang mempengaruhi resistensi terhadap aliran fluida adalah kecepatan fluida melalui pipa dan viskositas fluida. Aliran cairan atau gas selalu akan mengalir ke arah perlawanan sedikit (kurang tekanan). Pada aliran satu fase, pressure drop dipengaruhi oleh Reynold number yang merupakan fungsi dari viskositas, densitas fluida dan diameter pipa. (Deslia Prima. 2011).



Gambar 2.1 Graik Aliran Fluida

Penurunan tekanan dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\Delta p = \frac{v^2 \times f \times L \times \rho}{2D} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

Δp = penurunan tekanan dalam pascal (Pa)

v = kecepatan dalam meter per detik (m / detik)

f = faktor gesekan

L = panjang pipa atau selang dalam meter (m)

ρ = densitas cairan dalam kilogram per meter kubik (kg / m³)

D = diameter dalam pipa atau selang dalam meter (m)

2.3 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds (Re) digunakan untuk menunjukkan sifat utama sebuah aliran, yaitu apakah aliran itu laminar, turbulen, ataukah transisi serta letaknya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen berbanding dengan laminar.

2.3.1 Aliran Laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Dinyatakan dengan rumus faktor gesekan Darcy untuk aliran laminar (ketika bilangan Reynolds di bawah 2300) adalah:

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

f = faktor gesekan Darcy

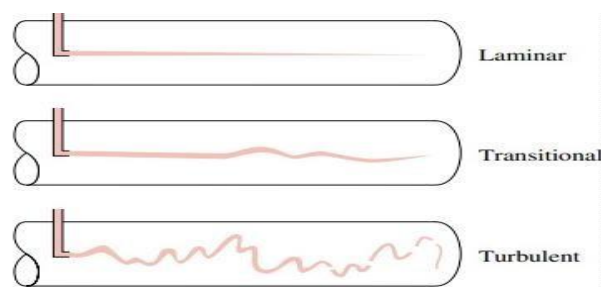
Re = bilangan Reynolds

2.3.2 Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari sebuah partikel–partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi akan membangkitkan tegangan geser yang merata pada seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran.

2.3.3 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan antara aliran laminar dan aliran turbulen.



Gambar 2.2 Jenis – Jenis Aliran (Sumber: Potter, Merle C dkk, 2011)

Adapun rumus untuk mengetahui angka reynolds suatu aliran adalah sebagai berikut:

$$Re = \frac{VD}{u} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

Re = Angka reynolds,

V = kecepatan fluida (m/s),

D = diameter dalam pipa (m),

U = Viskositas kinematik fluida (m²/s).

Pada fluida air, suatu aliran diklasifikasikan laminar apabila aliran tersebut mempunyai bilangan reynolds (Re) kurang dari 2000. Untuk aliran transisi berada pada bilangan $2000 < Re < 4000$, disebut juga sebagai bilangan reynolds kritis. Sedangkan untuk aliran turbulen mempunyai bilangan reynolds lebih dari 4000.

Tabel 2.1 Viskositas Kinematik (*Sumber : GUNT Manual*)

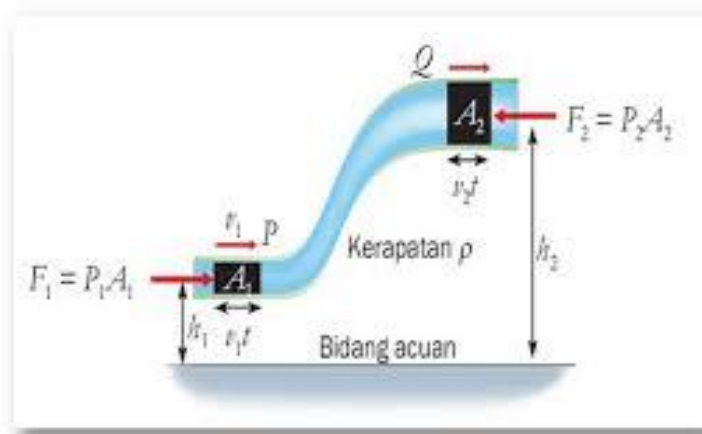
Temperatur (°C)	Viskositas Kinematik (10 ⁻⁶ m ² /s)
15	1,134
16	1,106
17	1,079
18	1,055
19	1,028
20	1,004
21	0,980
22	0,957
23	0,935
24	0,914
25	0,894
26	0,875
27	0,856
28	0,837
29	0,812
30	0,801

2.4 Persamaan Bernouli

Hukum Bernoulli menjelaskan tentang konsep dasar aliran fluida (zat cair dan gas) bahwa peningkatan kecepatan pada suatu aliran zat cair atau gas, akan mengakibatkan penurunan tekanan pada zat cair atau gas tersebut. Artinya, akan terdapat penurunan energi potensial pada aliran fluida tersebut.

Prinsip Bernoulli adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa pada suatu aliran fluida, peningkatan pada kecepatan fluida akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip ini sebenarnya merupakan penyederhanaan dari Persamaan Bernoulli yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama. Prinsip ini diambil dari nama ilmuwan Belanda/Swiss yang bernama Daniel Bernoulli.

Konsep dasar ini berlaku pada fluida aliran termampatkan *compressible flow*, juga pada fluida dengan aliran tak-termampatkan *incompressible-flow*. Hukum Bernoulli sebetulnya dapat dikatakan sebagai bentuk khusus dari konsep dalam mekanika fluida secara umum, yang dikenal dalam persamaan Bernoulli. Secara matematis persamaan Bernoulli adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3 Hubungan Aliran Energi Didalam Ruangan Tertutup

$$\frac{P_1}{\gamma_1} + \frac{V_{1,2}}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma_2} + \frac{V_{1,2}}{2g} + Z_2 + H \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$P_{1,2}$ = tekanan di penampang 1 dan 2 (N/m^2)

$v_{1,2}$ = kecepatan di penampang 1 dan 2 (m/s^2)

$z_{1,2}$ = tinggi pada permukaan 1 dan 2 (m)

$\gamma_{1,2}$ = berat jenis 1 dan 2 (N/m^3)

g = gravitasi bumi ($9,82 \text{ m/s}^2$)

2.5 Persamaan Kontinuitas

Pada saat kita akan menyempatkan air dengan menggunakan selang, Anda akan melihat fenomena fisika yang aneh tapi nyata. Ketika lubang selang dipencet, maka air yang keluar akan menempuh lintasan yang cukup jauh. Sebaliknya ketika selang dikembalikan seperti semula maka jarak pancaran air akan berkurang. Fenomena fisika tersebut dapat dijelaskan dengan mempelajari bahasan tentang persamaan kontinuitas berikut. Persamaan kontinuitas menghubungkan kecepatan fluida di suatu tempat dengan tempat lain. Sebelum menurunkan hubungan ini, Anda harus memahami beberapa istilah dalam aliran fluida. Garis alir (stream line) didefinisikan sebagai lintasan aliran fluida ideal (aliran lunak). Garis singgung di suatu titik pada garis alir menyatakan arah kecepatan fluida. Garis alir tidak ada yang berpotongan satu sama lain. Tabung air merupakan kumpulan dari garis-garis alir. Pada tabung alir, fluida masuk dan keluar melalui mulut-mulut tabung. Fluida tidak boleh masuk dari sisi tabung karena dapat menyebabkan terjadinya perpotongan garis-garis alir. Perpotongan ini akan menyebabkan aliran tidak lunak lagi.

Persamaan kontinuitas menyatakan hubungan antara kecepatan fluida yang masuk pada suatu pipa terhadap kecepatan fluida yang keluar. Hubungan tersebut dinyatakan dengan:

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

A_1 = Luas penampang pipa 1 (m^2)

A_2 = Luas penampang pipa 2 (m^2)

v_1 = Kecepatan fluida pada pipa 1 (m/s)

v_2 = Kecepatan fluida pada pipa 2 (m/s)

Debit adalah besaran yang menyatakan volume fluida yang mengalir tiap satuan waktu:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

Q = debit (m^3/s)

V = volume (m^3)

t = waktu (s)

2.6 Head loss Dan Friction Loss Pada Pipa

Head loss biasanya dinyatakan dengan satuan panjang. Sehingga untuk persamaan *head loss* adalah harga Δp yang dinyatakan dengan satuan panjang mHg atau mmHg. Harga f sendiri bergantung pada tipe alirannya. Untuk aliran laminar, dimana $N Re < 2100$, berlaku persamaan :

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots(2.12)$$

Untuk aliran turbulen dengan $N Re > 4000$, berlaku persamaan:

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Kerugian tinggi-tekan terdiri atas kerugian tinggi-tekan mayor dan minor, atau *head losses mayor* dan *head losses minor*. *Head losses mayor* disebabkan karena kerugian gesek di dalam pipa-pipa, dan *head losses minor* disebabkan karena kerugian di dalam belokan-belokan, reduser, katup-katup, dan sebagainya (Sularso dan Tahara, 2006). Berikut ini penjelasan singkat tentang keduanya:

1. *Head losses*

Untuk menghitung kerugian gesek antara dinding pipa dengan aliran fluida tanpa adanya perubahan luas penampang di dalam pipa dapat dipakai rumus Darcy yang secara matematis ditulis sebagai berikut:

$$hl = f \frac{L.v^2}{D2g} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

h_l = *head loss mayor* (m)

f = koefisien gesekan

L = panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

2. *Head losses minor*

Merupakan suatu kerugian aliran fluida yang disebabkan oleh perubahan bentuk (*sudden expotion*) dan yang disebabkan oleh konstruksi (*sudden contruction*) misal: perubahan penampang dari

kecil ke besar atau sebaliknya adanya katup, saringan, belokang dan sebagainya. Faktor kerugian gesekan dalam pipa:

$$H = f \left[\frac{L}{D} \right] \cdot \left[\frac{V^2}{2g} \right] \dots\dots\dots(2.15)$$

untuk $Re < 2300$, aliran bersifat laminar

untuk $2300 < Re < 4000$, aliran bersifat transisi

untuk $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen

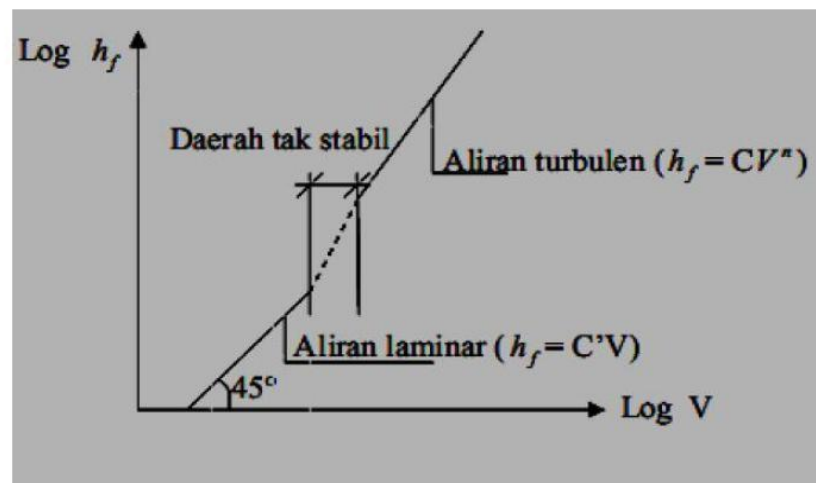
2.7 Gesekan dalam pipa

Gesekan pada pipa dapat menyebabkan hilangnya energi mekanik fluida. Gesekan inilah yang menentukan aliran fluida dalam pipa, apakah laminar atau turbulen. Gesekan juga dapat menimbulkan panas pada pipa sehingga merubah energi mekanik menjadi energi panas (kalor). Dalam aplikasi kesehariannya, ada banyak sekali bentuk dan model pipa, seperti pipa bentuk *elbow*, *mitter*, *tee*, *reducer*, *cross*, dan lainnya. Bentuk serta model yang beraneka ragam tersebut sangat membantu dalam desain *layout* sistem perpipaan didunia industri. Pada saat operasi, bentuk dan model pipa yang bermacam-macam tersebut akan memiliki karakteristik tegangan yang berbeda-beda sebagai akibat dari pembebanan yang diterimanya.

Akumulasi dari berat pipa itu sendiri dan tekanan fluida yang mengalir didalamnya, akan menyebabkan tegangan pada pipa yang dikenal sebagai beban static. Namun efek dari pembebanan seperti ini dapat diminimalisasi dengan memilih jenis penyangga (*support*) yang sesuai, dan menggunakan penyangga tersebut dalam jumlah cukup. Secara umum, beban dinamik dan beban termal pada pipa merupakan dua hal yang lebih penting, dan lebih sulit untuk ditangani. Pembebanan dinamik terjadi pada pipa yang berhubungan langsung dengan peralatan bergetar seperti pompa atau kompresor. Beban dinamik juga terjadi pada pipa yang mengalami beban termal, sehingga beberapa bagian pipa berekspansi dan menimbulkan tegangan pada pipa. Oleh sebab itu, perlu digunakan beberapa alat atau mekanisme yang didesain untuk memperkecil tegangan pada system perpipaan tersebut, agar kelebihan beban yang bisa mengakibatkan kegagalan pada bagian pipa, atau kerusakan pada alat yang terhubung dengannya dapat dihindari.

Salah satu komponen penyambungan dalam sistem perpipaan adalah *pipe bend* (pipa lengkung) atau *elbow*. *Pipe bend* berfungsi untuk membelokkan arah aliran fluida didalam pipa. Namun *pipe bend* lebih sulit untuk dianalisa karena permukaannya menjadi oval dibawah pembebanan momen bending. Hal ini menyebabkan *pipe bend* memiliki fleksibilitas yang lebih besar dibandingkan dengan pipa lurus yang sama ukuran dan jenis materialnya. Lebihnya fleksibilitas ini menjadikan *pipe bend* berfungsi sebagai penyerap ekspansi thermal. Dengan berbagai karakteristik tersebut, *pipe bend* menjadi komponen yang sangat penting di dalam sistem perpipaan dan memerlukan berbagai macam pertimbangan dalam proses perancangannya. (Mc.Cabe.1985).

Dalam (Triatmojo, 1996: 5) Reynolds menetapkan hukum tekanan gesek dengan melakukan pengukuran kehilangan energi di dalam beberapa pipa dengan panjang berbeda dan untuk berbagai kecepatan aliran. Percobaan tersebut memberikan hasil berupa suatu grafik hubungan antara *head losses* (h_f) dan kecepatan aliran (v). Gambar 2.10 menunjukkan kedua hubungan tersebut yang dibuat dalam skala logaritmik untuk diameter tertentu.



Gambar 2.4 Grafik *head losses* – kecepatan

Bagian bawah dari Gambar 2.10 merupakan garis lurus, dengan kemiringan 45° , yang menunjukkan bahwa h_f sebanding dengan v , yang merupakan sifat aliran laminar. Sedang bagian atas merupakan garis lurus dengan kemiringan n , dengan n antara 1,75 dan 2,0 yang tergantung pada nilai Re dan kekasaran. Hal ini menunjukkan bahwa h_f sebanding dengan nilai v , nilai pangkat yang besar berlaku untuk pipa kasar sedang yang kecil untuk pipa halus. Dari grafik tersebut

terlihat bahwa kehilangan energi pada aliran turbulen lebih besar dari aliran laminar. Hal ini disebabkan karena adanya turbulensi yang dapat memperbesar kehilangan energi.

2.8 Sistem Perpipaan

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo 1996: 25). Fluida yang di alirkan melalui pipa bisa berupa zat cair atau gas dan tekanan bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer. Apabila zat cair di dalam pipa tidak penuh maka aliran termasuk dalam aliran saluran terbuka atau karena tekanan di dalam pipa sama dengan tekanan atmosfer (zat cair di dalam pipa tidak penuh), aliran termasuk dalam pengaliran terbuka. Karena mempunyai permukaan bebas, maka fluida yang dialirkan adalah zat cair. Tekanan di permukaan zat cair sepanjang saluran terbuka adalah tekanan atmosfer.

Aliran viskos adalah aliran zat cair yang mempunyai kekentalan (viskositas). Viskositas terjadi pada temperature tertentu. Tabel 2.2. memberikan sifat air (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer dan beberapa temperature. Kekentalan adalah sifat zat cair yang dapat menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan mengubah sebagian energi aliran dalam bentuk energi lain seperti panas, suara, dan sebagainya. Perubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energi.

Tabel 2.2 Sifat air kekentalan dan (viskositas kinematik) pada tekanan atmosfer

No	Suhu °C	Kekentalan Air N.s/m ²	Viskositas Kinematik m ² /dt
1	0.0	1,788 x 10 ⁻³	1.788 x 10 ⁻⁶
2	10.0	1,307 x 10 ⁻³	1.307 x 10 ⁻⁶
3	20.0	1,003 x 10 ⁻³	1.005 x 10 ⁻⁶
4	30.0	0,799 x 10 ⁻³	0.802 x 10 ⁻⁶
5	40.0	0,657 x 10 ⁻³	0.662 x 10 ⁻⁶
6	50.0	0,548 x 10 ⁻³	0.555 x 10 ⁻⁶
7	60.0	0,467 x 10 ⁻³	0.475 x 10 ⁻⁶
8	70.0	0,405 x 10 ⁻³	0.414 x 10 ⁻⁶
9	80.0	0,355 x 10 ⁻³	0.365 x 10 ⁻⁶
10	90.0	0,316 x 10 ⁻³	0.327 x 10 ⁻⁶
11	100.0	0,283 x 10 ⁻³	0.295 x 10 ⁻⁶

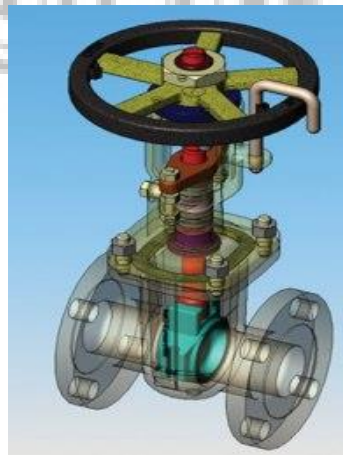
(Sumber: *mekanika fluida-TEP* hal: 201. White, 1986:390)

Aliran viskos dapat dibedakan menjadi dua macam. Apabila pengaruh kekentalan (*viskositas*) adalah cukup dominan sehingga partikel-partikel zat cair bergerak secara teratur menurut lintasan lurus maka aliran disebut laminar. Aliran laminar terjadi apabila kekentalan besar dan kecepatan aliran kecil. Dengan berkurangnya pengaruh kekentalan atau bertambahnya kecepatan maka aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Pada aliran turbulen partikel-partikel zat cair bergerak secara tidak teratur.

2.9 Valve

Valve (Katup) adalah sebuah perangkat yang mengatur, mengarahkan atau mengontrol aliran dari suatu cairan (gas, cairan, padatan terfluidisasi) dengan membuka, menutup, atau menutup sebagian dari jalan alirannya. *Valve* (katup) dalam kehidupan sehari-hari, paling nyata adalah pada pipa air, seperti keran untuk air. Contoh akrab lainnya termasuk katup kontrol gas di kompor, katup kecil yang dipasang di kamar mandi dan masih banyak lagi. Katup memainkan peran penting dalam aplikasi industri mulai dari transportasi air minum juga untuk mengontrol pengapian di mesin roket. *Valve* (katup) dapat dioperasikan secara manual, baik oleh pegangan, tuas pedal dan lain-lain. Selain dapat dioperasikan secara manual katup juga dapat dioperasikan secara otomatis dengan menggunakan prinsip perubahan aliran tekanan, suhu dan lain-lain. Perubahan ini dapat mempengaruhi diafragma, pegas atau piston yang pada gilirannya mengaktifkan katup secara otomatis. Macam-macam *Valve* (katup) yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

2.9.1 Gate Valve



Gambar 2.5 Jenis Gate Valve

Gate valve adalah jenis *valve* yang digunakan untuk membuka aliran dengan cara mengangkat gerbang penutup nya yang berbentuk bulat atau persegi panjang. Gate Valve adalah jenis *valve* yang paling sering dipakai dalam sistem perpipaan, yang fungsinya untuk membuka dan menutup aliran. Gate valve tidak untuk mengatur besar kecil laju suatu aliran fluida dengan cara membuka setengah atau seperempat posisinya, Jadi posisi *gate* pada *valve* ini harus benar benar terbuka (fully open) atau benar-benar tertutup (fully close). Jika posisi *gate* setengah terbuka maka akan terjadi turbulensi pada aliran tersebut dan turbulensi ini akan menyebabkan :

1. Akan terjadi pengikisan sudut-sudut *gate*.

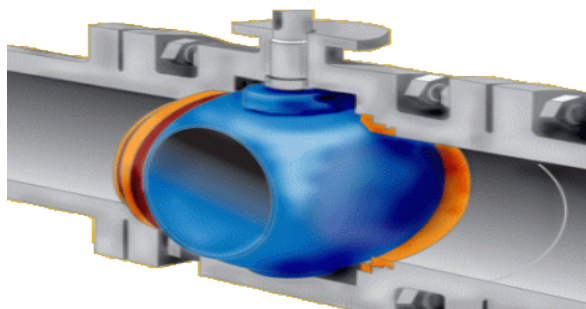
Laju aliran fluida yang terjadi turbulensi ini dapat mengikis sudut-sudut *gate* yang dapat menyebabkan erosi dan pada akhirnya *valve* tidak dapat bekerja secara sempurna.

2. Terjadi perubahan pada posisi dudukan gerbang penutupnya.

Gerbang penutup akan terjadi pengayunan terhadap posisi dudukan, sehingga lama kelamaan posisinya akan berubah terhadap dudukan sehingga apabila *valve* menutup maka gerbang penutupnya tidak akan berada pada posisi yang tepat, sehingga bisa menyebabkan *passing*.

2.9.2 Ball Valve

Ball Valve adalah sebuah *valve* dengan pengontrol aliran berbentuk disc bulat (seperti bola/belahan). Bola itu memiliki lubang, yang berada di tengah sehingga ketika lubang tersebut segaris lurus atau sejalan dengan kedua ujung *Valve* maka aliran akan terjadi. Tetapi ketika katup ditutup, posisi lubang akan berada tegak lurus terhadap ujung *valve*, maka aliran akan tertutup.

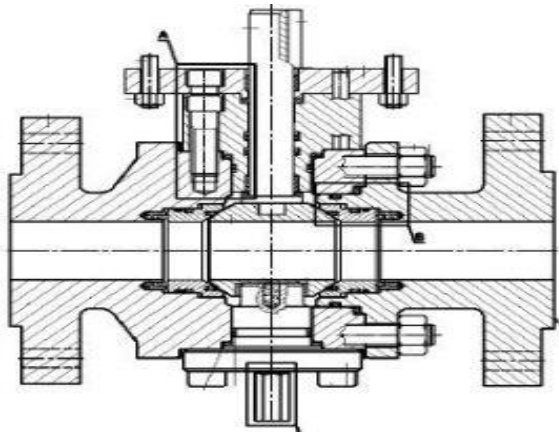


Gambar 2.6 Jenis Ball Valve

Ball valve sangat banyak digunakan karena kemudahannya dalam perbaikan dan kemampuan untuk menahan tekanan dan suhu tinggi. Hal itu tergantung dari bahan material itu terbuat, *ball valve* digunakan secara luas dalam aplikasi rumah tangga karena mereka sangat serbaguna, dapat menahan tekanan hingga 1000 bar dan suhu hingga 482 ° F (250 ° C). Ukurannya biasanya berkisar 0,2-11,81 inci (0,5 cm sampai 30 cm). *Ball valve* dapat terbuat dari logam, plastik atau pun dari bahan keramik. Bolanya sering dilapisi chrome untuk membuatnya lebih tahan lama.

Ada 2 tipe *ball valve* yaitu :

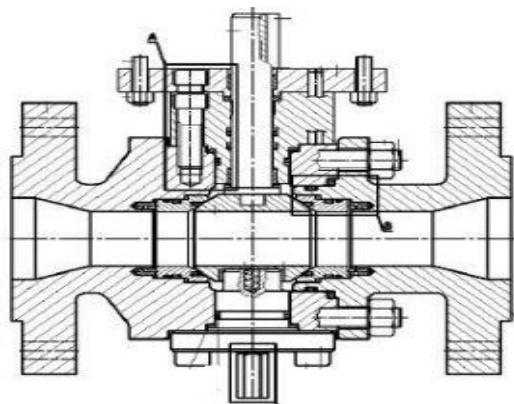
1. Full bore ball valve



Gambar 2.7 Full Bore Ball Valve

Full bore ball valve adalah tipe ball valve dengan diameter lubang bolanya sama dengan diameter pipa. Jenis *full bore ball valves* biasanya digunakan pada *blow down*, *piggable line*, *production manifold*, *pipeline* dan lain-lain.

2. Reduced bore ball valve



Gambar 2.8 Reduced Bore Ball Valve

Reduced bore ball valves adalah jenis ball valve yang diameter lubang bolanya tidak seukuran dengan ukuran pipa. Minimum diameter bola katup yang berkurang adalah satu ukuran lebih rendah dari ukuran diameter pipa sebenarnya. Misalnya ukuran diameter pipa 4 inci dan diameter *ball valve* adalah 3 inci.

